

APLIKASI METODE MAGNETOTELLURIK UNTUK ZONASI RESERVOAR PANASBUMI

Fauziah Maswah¹⁾, Syamsuddin¹⁾, Lantu¹⁾, Ahmad Zarkasyi²⁾

¹Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin

²Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG) – Badan Geologi, Bandung

Email: fauziah.maswah@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian geofisika di pulau Sulawesi dengan menggunakan metode Magnetotellurik (MT) sebanyak 25 stasiun pengukuran dalam 3 lintasan untuk mengetahui zona reservoir panasbumi daerah tersebut. Dari hasil analisa dan interpretasi data diperoleh bahwa zona clay cap pada daerah penelitian ditunjukkan dengan nilai resistivitas rendah ($<20 \Omega m$) dari permukaan hingga kedalaman 2000 meter, sedangkan batuan reservoir diperkirakan berada di bawah batuan penutup dengan sebaran resistivitas sedang ($16-267 \Omega m$). Berdasarkan peta geologi, daerah penelitian berada pada zona tektonik aktif yang mengontrol kemunculan manifestasi permukaan berupa mata air panas dan menyebabkan terbentuknya zona *high permeability* yang dapat menjadi zona reservoir.

Kata kunci : Magnetotellurik (MT), panasbumi, resistivitas, reservoir

Abstract

A geophysical investigation has been conducted at Sulawesi island using Magnetotelluric (MT) method with as many as 25 stations within 3 lines to identify geothermal reservoir zones of the area. Considering the fact from analysis as well as interpretation results, it can be showed that clay cap zone has low resistivity value ($<20 \Omega m$) from surface to 2000 meter depth, on the other hands, reservoir rocks is calculated under clay cap rock with middle resistivity values distribution ($16-267 \Omega m$). According to geological map, the research area is located on active tectonic zones which controlled the appearance of the surface manifestation such as hot springs and the consequence from the forming of high permeability zone that could become reservoir zone.

Keywords: magnetotelluric (MT), geothermal, resistivity, reservoir

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber energi panasbumi, karena berada pada daerah terdepan di zona tektonik aktif. Energi panasbumi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya energi yang ramah lingkungan dan minim polusi karena tingkat emisinya sangat rendah jika dibandingkan dengan energi lain serta merupakan salah satu solusi terbaik untuk mengatasi keterbatasan energi. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk eksplorasi energi panasbumi adalah metode Magnetotellurik (MT). Metode MT merupakan metode eksplorasi geofisika yang mengukur respon bumi dalam besaran medan listrik (E) dan medan magnet (H) terhadap medan elektromagnetik (EM) alam. Metode MT memiliki keunggulan pada penetrasinya yang cukup dalam dan tingkat ambiguitasnya yang relatif rendah. Metode ini bersifat pasif yang artinya metode ini menggunakan sumber sinyal alami yang berasal

dari dalam bumi. Sumber sinyal MT berasal dari adanya interaksi antara *solar wind* dengan lapisan magnetosfer bumi yang mengakibatkan timbulnya interaksi antara medan listrik dan medan magnet di permukaan. Adanya interaksi antara medan listrik dan medan magnet menyebabkan timbulnya medan EM yang membawa sifat konduktivitas/resistivitas batuan di bawah permukaan bumi. Sifat tersebut kemudian diidentifikasi untuk memodelkan zona reservoir di bawah permukaan. seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Adhiarta Prabhataputra dengan judul “Aplikasi Metode Magnetotellurik pada Area Panas Bumi Gunung Batur, Kintamani, Bali”.

2. Teori Dasar

Persamaan Maxwell pada Metode Magnetotellurik

Metode elektromagnetik didasarkan atas persamaan Maxwell yang merupakan perumusan – perumusan matematika untuk

hukum – hukum alam yang melandasi semua fenomena keelektromagnetan. Dalam bentuk differensial, persamaan Maxwell dapat dituliskan sebagai berikut (Lantu, 2014) :

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

Dimana,

\mathbf{E} : medan listrik (Volt/m)

\mathbf{B} : fluks atau induksi magnetik (Weber/m² atau Tesla)

\mathbf{j} : rapat arus (Ampere/m²)

ρ : rapat muatan (Coulomb/m³)

ϵ_0 : permitivitas listrik ruang hampa (Farad/m) (8,85x10⁻¹²)

μ_0 : permeabilitas magnetik ruang hampa (Henry/m) (4 π x10⁻⁷)

Kedalaman Penetrasi (*Skin Depth*)

Kedalaman penetrasi menyatakan seberapa dalam gelombang elektromagnetik dapat terpenetrasi ke dalam bumi sedemikian amplitudonya menjadi 1/e dari amplitudo awal. Dalam hal ini amplitudo medan listrik dan medan magnet sebanding dengan invers kedalaman penetrasi δ sehingga :

$$\sqrt{\frac{\mu_0 \omega}{2\rho}} = \frac{1}{\delta} \quad (5)$$

atau,

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_0 \omega}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{10\rho T} \text{ km} \quad (6)$$

Dengan, T adalah periode gelombang (s). Kedalaman penetrasi didefinisikan sebagai kedalaman dimana amplitudo medan $E = \frac{E_0}{e}$ dengan $e = 2.72$.

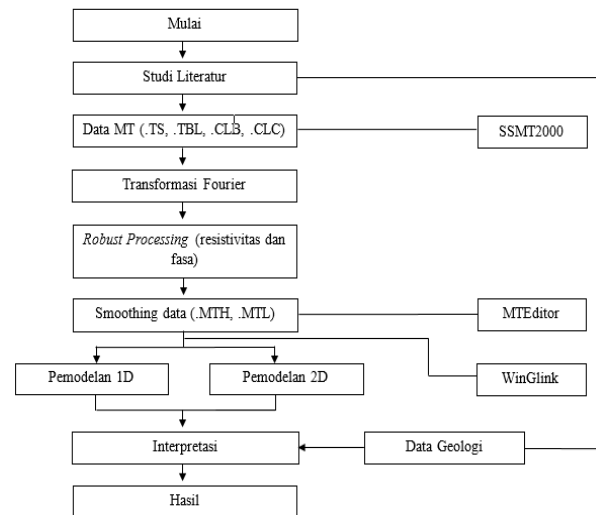
Inversi 2D Non-Linear Conjugate Gradien

Pemecahan masalah pemodelan inversi MT menggunakan algoritma *non-linear conjugate gradient* (NLCG) dilakukan dengan mencari solusi model yang meminimumkan fungsi objektif Ψ . Pemecahan masalah inversi dalam pengertian dari Tikhonov dan Arsenin (1977), mengambil “*a regularized solution*” untuk mencari solusi model yang meminimumkan fungsi objektif Ψ dan didefinisikan sebagai :

$$\Psi(\mathbf{m}) = (\mathbf{d} - \mathbf{F}(\mathbf{m}))^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{F}(\mathbf{m})) + \lambda \mathbf{m}^T \mathbf{L}^T \mathbf{L} \mathbf{m} \quad (7)$$

Dimana \mathbf{d} merupakan vektor data, \mathbf{F} adalah Fungsi *forward modelling*, \mathbf{m} adalah vektor model, \mathbf{V} adalah matriks kovarian error, λ adalah parameter regulasi sebuah bilangan positif dan \mathbf{L} adalah Operator linear (smoothness). Pemodelan inversi dengan algoritma NLCG yang dijelaskan oleh Rodi dan Mackie (2001) diaplikasikan pada program WinGlink.

3. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Bagan alir penelitian

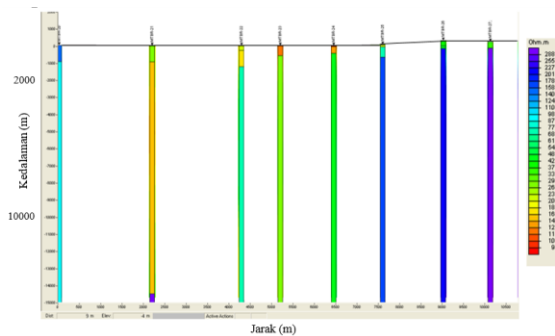
4. Hasil dan Pembahasan

Informasi Geologi

Daerah penelitian berada di lingkungan non vulkanik yang terdiri dari batuan metamorf yang berumur Trias-Kapur (Mesozoikum), terobosan yang berjenis granit berumur Tersier, batuan sedimen yang berumur kuartar dan endapan permukaan berupa alluvium yang prosesnya masih berlangsung hingga sekarang. Daerah penelitian berada dalam zona sesar besar “PK” yang berarah relatif utara-selatan. Sesar-sesar utama dan sesar-sesar sekunder “PK” mengontrol munculnya manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas, yaitu mata air panas “BR”, “SD”, “LP” dan “MK”.

Hasil Pemodelan Inversi 1D

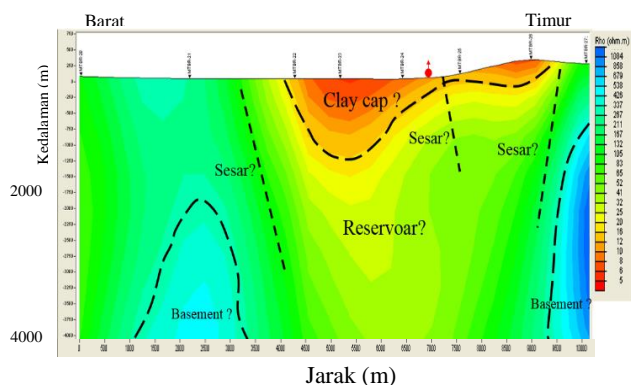
Hasil pengolahan data MT berupa model penampang resistivitas 1D dan 2D. Model resistivitas 1D memperlihatkan sebaran nilai resistivitas berdasarkan kedalaman pada masing-masing stasiun pengukuran dalam satu lintasan.



Gambar 2 Hasil penampang resistivitas 1D

Gambar 2 merupakan hasil penampang resistivitas 1D, dengan arah barat-timur dan memiliki 8 stasiun pengukuran dengan sebaran nilai resistivitas yang berbeda tiap stasiun pengukuran. Umumnya semua stasiun pengukuran terdiri dari 2 sampai 3 lapisan. Dari gambar 2 terlihat sebaran nilai resistivitas yang tinggi berada pada stasiun pengukuran MTBR-25, MTBR-26 dan MTBR-27, sedangkan nilai sebaran resistivitas sedang terlihat pada stasiun pengukuran MTBR-20 sampai MTBR 24, hal ini mengindikasikan keberadaan struktur geologi pada daerah disekitar stasiun pengukuran tersebut. Namun untuk model 1D sulit untuk mendelineasi keberadaan struktur tersebut, model 1D hanya memberikan informasi nilai resistivitas berdasarkan kedalaman untuk masing – masing stasiun pengukuran, sehingga untuk interpretasi digunakan model 2D yang mampu memberikan informasi nilai resistivitas lateral dan vertikal dengan akurat.

Hasil Pemodelan Inversi 2D



Gambar 3. Model tahanan jenis 2D

Pada model 2D (Gambar 3) secara umum, terlihat tiga sebaran nilai resistivitas utama. Zona dengan nilai resistivitas rendah dengan rentang nilai $5-16 \Omega m$ ditunjukkan dengan warna merah, sebaran nilai resistivitas sedang

dengan rentang nilai $16-267 \Omega m$ ditunjukkan dengan warna hijau dan zona dengan sebaran nilai resistivitas tinggi dengan nilai resistivitas $>267 \Omega m$ ditunjukkan dengan warna biru.

Zona dengan nilai resistivitas rendah ($5-16 \Omega m$) menyebar di bawah stasiun pengukuran MTBR22 hingga MTBR26 pada kedalaman hingga 1200 meter. Sebaran nilai resistivitas rendah ini diduga merupakan batuan yang teralterasi oleh sumber panas yang berada di bawahnya. Batuan tersebut diinterpretasikan sebagai batuan penutup (*clay cap*).

Di bawah zona resistivitas rendah, terdapat sebaran nilai resistivitas sedang ($16-267 \Omega m$) yang diinterpretasikan sebagai respon dari batuan yang berfungsi sebagai reservoir panasbumi. Batuan reservoir ini diduga merupakan batuan metamorf yang dipengaruhi oleh struktur sesar sehingga memungkinkan untuk menyimpan fluida panas. Struktur sesar ini pula yang mengontrol kemuculan manifestasi panas bumi berupa mata air panas “LP” di permukaan.

Zona dengan nilai resistivitas tinggi ($>267 \Omega m$) berada pada kedalaman 700-4000 meter di bawah stasiun pengukuran MTBR-27 dan pada kedalaman 2000 meter di bawah stasiun pengukuran MTBR21, zona dengan nilai resistivitas tinggi ini diinterpretasikan sebagai batuan dasar (*basement*) yang menjadi sumber panasbumi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan MT yang telah dibuat dan dengan data pendukung berupa data geologi, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari pengolahan data MT, diperoleh model resistivitas 1D dan 2D bawah permukaan. Hasil pemodelan 1D memperlihatkan sebaran nilai resistivitas berdasarkan kedalaman pada masing-masing stasiun pengukuran dan dari pemodelan 2D dapat diinterpretasikan bahwa zona *clay cap* pada daerah penelitian ditunjukkan dengan nilai resistivitas yang rendah ($<20 \Omega m$) dan tersebar dari permukaan hingga kedalaman 2000 meter, sedangkan batuan reservoir diperkirakan berada di bawah zona *clay cap* dengan sebaran nilai resistivitas sedang ($16-267 \Omega m$).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak Pusat Sumber Daya Geologi atas kesempatan yang diberikan untuk mempelajari metode MT selama melaksanakan tugas akhir dan izin yang telah diberikan untuk mempublikasikan makalah ini serta kepada dosen pembimbing dan dosen penguji yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis.

Daftar Pustaka

- Dewi, 2015, *Struktur Bawah Permukaan Kaitannya dengan Keterdapatan Sistem Panas Bumi di Daerah Sangkanhurip Kabupaten Kuningan Berdasarkan Data Magnetotellurik*, Pasca Sarjana Fakultas Geologi, Unpad, Jatinangor.
- Dickson, M. dan Fanelli, M., 2004, *What is Geothermal Energy*, Instituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy.
- Goff, F dan Janik, C.J., 2000, *Geothermal System*, Sigurdsson H., Houghton B., Rymer H. (editors), *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, USA.
- Goldberg, S., dan Rotstein, Y., 1982, *A Simple Form of Presentation of Magnetotelluric Data Using the Bostick Transformation*, *Geophys. Prospect.* 30, 211-216.
- Grandis, H., 2007, *Magnetotelluric (MT) Method*, Diktat Workshop, Program Studi Geofisika, ITB, Bandung.
- Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Hochstein, M.P., 1990, *Classification and Assesment of Geothermal Resources, Geothermics*.
- Jones, A. G., 1983, *On the Equivalence of the "Niblett" and "Bostick" Transformation in the Magnetotelluric Method*, *J. Geophys.*, 53, 72-73.
- Kadir, T. V. S., 2011, *Metoda Magnetotellurik (MT) untuk Eksplorasi panasbumi daerah Lili, Sulawesi Barat dengan data pendukung Metoda Gravitasi*, FMIPA UI, Depok.
- Kasbani, 2010, *Tipe Sistem Panas Bumi di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya*, Kelompok Program Penelitian Panas Bumi, PMG, Badan Geologi.
- Lantu, 2014, *Metode Geolistrik dan Geoelektromagnetik*, Lembaga Kajian dan Pengembangan Pendidikan, Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Prabhataputra, A., 2014, *Aplikasi Metode Magnetotellurik Pada Area Panas Bumi Gunung Batur, Kintamani, Bali*, Teknik Geofisika – ITB, Bandung.
- Risdianto, D., dkk, 2010, *Review Daerah Prospek Panas Bumi Bora-Pulu Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah*, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Rodi, W., Mackie R.L., 2001, *Nonlinear Conjugate Gradients Algoritm for 2-D Magnetotellurics Inversion*, *Geophysics*, 66, 174-187.
- Rogers S., 2005, *Data Processing User Guide*, Phoenix Geophysics, Canada.
- Saptadji, N. M., 1998, *Energi Panas Bumi (Geothermal Energy)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Simpson, F., dan Bahr, K., 2005, *Practical Magnetotellurics*, Cambridge University.
- Tjokronegoro, H. A., 2012, *Catatan Kuliah Pengolahan Sinyal*, Institiut Teknologi Bandung, Bandung.
- Weidelt, et al, 1980, *Die Bostick Transformation. In: Protokoll uber das Koloqium, Elektromagnetische Tiefenforschung*, V. Haak and J Homilius, eds.: pp 277-230, Berlin-Hannover.
- Zarkasy, A., dkk., 2010, *Survei Magnetotellurik di Daerah Panas Bumi Bora, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah*, Kelompok Program Penelitian Bawah Permukaan, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Zbinden, Dominik, 2015, *Inversion of 2D Magnetotelluric and Radiomagnetotelluric Data with Non-Linear Conjugate Gradient Techniques*, Department of Earth Sciences, Uppsala University.